

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-276067
 (43)Date of publication of application : 01.10.1992

(51)Int.Cl.

C23C 14/34
 H01L 21/265
 H01L 21/285
 H01L 21/302
 H01L 21/31
 H05H 1/46

(21)Application number : 03-057654

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 01.03.1991

(72)Inventor : SHIMADA MASARU

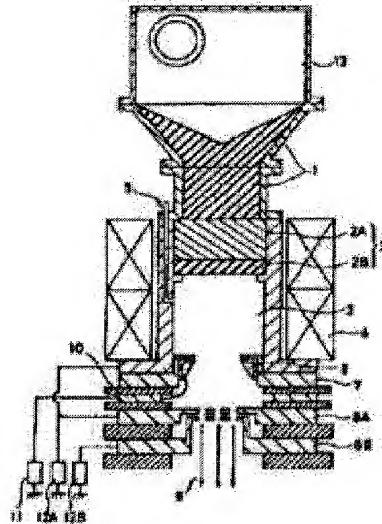
TORII YASUHIRO
 WATANABE IWAO

(54) METAL PLASMA SOURCE

(57)Abstract:

PURPOSE: To sputter a large amt. of metal particles by providing a sputtering target for supplying the metal particles capable of being impressed with a voltage.

CONSTITUTION: Plasma is produced in a chamber 3, a microwave inlet window 2 is connected to the chamber 3, and at least one layer of a dielectric is provided on the window 2. An inlet waveguide 1 is connected to the window 2, and a dielectric having permittivity different from that of the dielectric of the window 2 is furnished in the waveguide for introducing a microwave into the chamber 3. A magnetic field more than enough to cause electron cyclotron resonance in the chamber 3 is generated by a magnetic coil 4. A microwave- excited plasma source is constituted in this way. A sputtering target 6 for supplying metal particles capable of being impressed with a voltage is provided in the source. As a result, the material particle is ionized with high efficiency.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平4-276067

(43)公開日 平成4年(1992)10月1日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
C 23 C 14/34		8414-4K		
H 01 L 21/265				
21/285	S	7738-4M		
21/302	B	7353-4M		
		7738-4M	H 01 L 21/265	D
			審査請求 未請求 請求項の数2(全7頁)	最終頁に続く

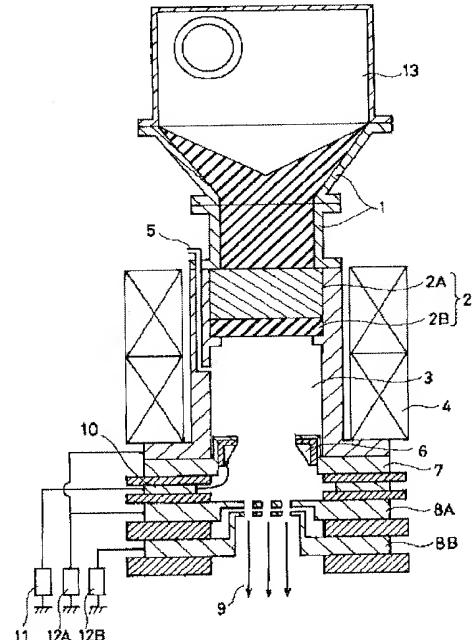
(21)出願番号	特願平3-57654	(71)出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号
(22)出願日	平成3年(1991)3月1日	(72)発明者	鳴田 勝 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	鳥居 康弘 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	渡辺 嶽 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本電信電話株式会社内
		(74)代理人	弁理士 山川 政樹

(54)【発明の名称】 金属プラズマ源

(57)【要約】

【目的】 長期間にわたり高密度の金属イオン・プラズマを生成できる金属プラズマ源を得ることである。

【構成】 マイクロ波導波管内部に誘電体を有し、マイクロ波導入窓にマイクロ波導波管内部の誘電体とは誘電率の異なる誘電体を有し、さらに電圧印加が可能な金属粒子供給用のスパッタターゲットを設けたものである。プラズマ生成室で磁場とマイクロ波の供給によりにより、電子サイクロトロン共鳴を引き起こしてプラズマを生成し、このイオンをスパッタターゲットに衝突させ、金属粒子をスパッタさせる。金属粒子はガスプラズマと衝突して効率よくイオン化され、イオンビームとなって引き出される。また、ターゲットは、金属粒子が窓に付着しない形状なので、長時間安定に動作する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマを生成するプラズマ生成室と、このプラズマ生成室に接続され、誘電体を少なくとも1層有するマイクロ波導入窓と、このマイクロ波導入窓に接続され、プラズマ生成室にマイクロ波を導入する内部にマイクロ波導入窓の誘電体と誘電率の異なる誘電体を有する導入導波管と、プラズマ生成室に電子サイクロトロン共鳴が引き起こされる以上の磁場を発生させる磁気回路とを備えたマイクロ波励起によるプラズマ源において、電圧印加が可能な金属粒子供給用のスパッタターゲットを備えたことを特徴とする金属プラズマ源。

【請求項2】 請求項1において、スパッタターゲットは、プラズマ生成室内に設置すると共に、ターゲット表面からマイクロ波導入窓を見込めない形状としたことを特徴とする金属プラズマ源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、薄膜形成、イオン注入等のLSI、半導体プロセス技術や、表面処理技術等へ適用するための金属プラズマ源に関し、特に、マイクロ波励起による電子サイクロトロン共鳴(ECR)を用いた金属プラズマ源に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、イオンやプラズマのエネルギーを制御して高品質の薄膜を形成したり、金属の表面処理を行ったりする技術が注目されている。この技術の実現には、各種金属イオン、プラズマを高密度で生成する必要がある。このような金属イオン、プラズマを高密度で生成するための金属プラズマ源としては、(a)金属化合物ガスを用いて金属をイオン化する方式、(b)金属ターゲットをスパッタすることにより金属イオンを生成する方式がある。(a)の方式では、生成できる金属イオン種に制限があり、また不純物が多くなるために適応範囲が限られるという問題がある。一方、(b)の方式は、ほとんど全ての金属イオン種が得るために幅広い適応が期待できる。このような(b)の方式の金属プラズマ源としては、種々の方式のものが検討されているが、その中でもマイクロ波励起によるECR放電(電子サイクロトロン共鳴放電)を利用したスパッタ型ECRプラズマ源がが注目されている。この放電方法は、以下のような優れた特徴を有している。

- ①無電極放電であり寿命が長く、反応性ガスを使用できる。
- ②低ガス圧(1×10^{-5} Torr)で放電可能であり、不純物の発生が少ない。
- ③高密度のプラズマを生成できる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来のスパッタ型ECRプラズマ源では、プラズマ生成室内にマイクロ波が伝搬するように構成されており、そのため

マイクロ波周波数に対応したある大きさ(マイクロ波周波数2.45GHzの場合、円筒形プラズマ生成室で直径72mm)以下には小型化できなかった。そのため、ECR磁界を発生させるためのコイルも非常に大きくかつ重くなり、プラズマ源として実際の装置に取り付けることは容易ではなかった。しかし、MBEやイオンビームスパッタなどの各種薄膜形成技術に幅広く適用するためには、装置に簡単に取り付けられる必要があり、ECRプラズマ生成源の大幅な小型化が望まれている。この種の小型化を行なったECRプラズマ源としては特願昭61-271909号に開示されているものがある。しかし、このようなプラズマ源では、プラズマの密度が高くなる、すなわちプラズマの比誘電率が大きくなるにつれて、プラズマのインピーダンスが大きく変化するため、プラズマ密度が高くなるとマイクロ波とプラズマのインピーダンス整合がうまくとれないという問題があった。また、ECRプラズマの高密度化を図ったものとして、特願昭62-198307号に開示されているものがある。これは、マイクロ波導入窓を多層の誘電体で構成することでマイクロ波とプラズマのインピーダンス整合をとり、高い密度のプラズマの生成を可能にしたものである。しかしながら、導波管・マイクロ波導入窓・プラズマ生成室の大きさをマイクロ波が伝搬できないぐらい小さくした場合、導波管部をマイクロ波が通過できないためインピーダンス整合をとった最適な多層構成を設計することはできなかった。

【0004】 さらに、金属粒子をスパッタによりプラズマ室内に供給した場合、その金属粒子が誘電体で構成されたマイクロ波導入窓に付着して金属膜を形成してしまう、マイクロ波がプラズマ室内に導入されなくなるという問題があった。このため、金属イオンを生成した場合は、プラズマ源を短時間しか動作できなかった。寿命を長くするために、マイクロ波導入窓をプラズマ生成室から離した場所に設置して金属膜の付着を防止することが行われているが(特願昭62-35801号)、これではプラズマとマイクロ波の最適なインピーダンス整合ができず、高密度プラズマを生成することは難しかった。本発明の目的は、高密度の金属イオン・プラズマを生成できる長寿命の小型の金属プラズマ源を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 このような目的を達成するため、本発明は、マイクロ波導入導波管の内部に誘電体を設け、マイクロ波導入窓には導入導波管内の誘電体と誘電率の異なる誘電体を少なくとも1層設けて高密度プラズマとマイクロ波のインピーダンス整合を行い、電圧印加可能な金属粒子供給用のスパッタターゲットを設けたものである。また、スパッタターゲットを、プラズマ生成室内に設置すると共にターゲット表面からマイクロ波導入窓を見込めない形状にしたものである。

【0006】

【作用】このような構成により、プラズマとマイクロ波のインピーダンス整合がとれ、高密度プラズマが生成されて大量の金属粒子をスパッタできる。さらに、スパッタ粒子は直進するためにマイクロ波導入窓へのスパッタ粒子の付着が起こらず、動作が安定で長寿命が得られる。

【0007】

【実施例】以下、本発明の詳細を実施例に沿って説明する。図1は、本発明の一実施例を示す構成図である。同図において、1は誘電体を挿入したマイクロ波導入導波管、2は多層の誘電体で構成したマイクロ波導入窓、3はプラズマ生成室、4は磁気コイル、5はガス導入孔、6はスパッタリングターゲット、7はターゲットホルダー、8A、8Bはイオン引き出し電極系、9はイオンビーム、10はフランジ、11はスパッタ電源、12A、12Bは引き出し電源、13は同軸導波管変換器である。マイクロ波は同軸ケーブルにより同軸導波管変換器1に導入される。本実施例では、同軸ケーブルを用いてマイクロ波を導入する例を示したが、導波管を用いて導入してもちろんよい。同軸導波管変換器13に導入されたマイクロ波は、導波管モードに変換され、マイクロ波導入導波管1、マイクロ波導入窓2を通してプラズマ生成室3に導入される。

【0008】マイクロ波導入導波管1は出口側のサイズがプラズマ生成室3と同程度すなわちマイクロ波の遮断領域であるため、通常のテーパ導波管ではマイクロ波が伝搬しない。そこで、誘電率の高い誘電体を充填し、マイクロ波を伝搬させている。誘電体を充填した場合、誘電率の1/2乗に逆比例して導波管を小さくできる。本実施例では、誘電体として誘電率9のアルミナを使用しているため、1/3まで導波管を縮小できる。マイクロ波の周波数が2.45GHzの場合、それに対応した通常の導波管のサイズは、矩形導波管の場合は9.6mm×2.7mm、円形導波管の場合は直径8.4mmである。従って、アルミナを充填した場合、それぞれ3.2mm×9mm、直径2.8mmの導波管が使用できる。また、導波管1の入口側の誘電体にV字形の切込みを入れて誘電体の断面積が徐々に増加するようにしている。これにより、インピーダンスがなめらかに変化し、同軸導波管変換器13とマイクロ波導入導波管1の接続部でのマイクロ波の反射を抑えることができる。本実施例ではV字形の切込みを入れているが、誘電体の断面積が滑らかに変化しているならば他の形状でもよい。

【0009】マイクロ波はこのような導入導波管1を通って、マイクロ波導入窓2まで伝搬する。マイクロ波導入窓2には多層の誘電体を用いている。本実施例では2層構成としており、導波管側に真空を封止するために石

英2Aを、プラズマ生成室3側にインピーダンス整合用にアルミナ2Bを用いている。高電圧を印加してイオンビームを引き出す場合は、逆流電子に対する耐性を高めるため、さらにボロンナイトライト(BN)等の高熱伝導率をもち融点の高い誘電体をプラズマ生成室3側に設置し3層構成としてもよい。誘電体材料としては、石英、アルミナ、ボロンナイトライト以外でも、誘電損が少なく、耐熱性の高い材料であれば使用可能である。また、誘電率が高い誘電体を用いれば1層構成も可能であるが、次に述べるプラズマとのインピーダンス整合の観点から導入導波管内の誘電体と異なる誘電率をもつほうがよい。

【0010】プラズマ生成室3はマイクロ波が伝搬できない大きさ(マイクロ波周波数2.45GHzの場合、直径7.2mm以下)で直径5.0mmであるが、マイクロ波導入窓2からプラズマ生成室3側にわずかにマイクロ波が漏れる。漏れたマイクロ波により、わずかにでもプラズマが生成すれば、プラズマ生成室3内の誘電率が大きくなり、マイクロ波が伝搬できるようになって、定常的にプラズマが生成される。しかし、高密度プラズマを生成するには、プラズマが誘電率を持つためにマイクロ波とのインピーダンス整合を正確にとる必要があり、そのため各誘電体の厚みを最適に設計しなければならない。特願昭62-198307号に高密度プラズマを生成するための設計法が開示されているが、本実施例のように誘電体を含んだテーパ導波管を用いている場合は適用できない。

【0011】しかし、導波管には無限遠まで誘電体が充填されているという近似をすれば、各誘電体の厚みは以下の計算手法により決定することができる。図2は、本マイクロ波プラズマ源の模式図である。同図において、21は誘電体を充填した導入導波管1に対応し、22は多層のマイクロ波導入窓2、23はプラズマ生成室3に対応している。以下の計算では断面形状はすべて半径aの円形としてあるが、各部分の断面形状が異なる場合は各形状にあったインピーダンスの式を用いればよい。

【0012】マイクロ波の自由空間での波長をλとし、導入導波管部21内の遮断波長をλ_c、比誘電率をε_cとする。また、マイクロ波導入窓部22中の誘電体でn層目のもののマイクロ波の管内波長をλ_n、比誘電率ε_n、厚さを1_n、インピーダンスをZ_nとし、プラズマ生成室部23内の比誘電率をε₃、インピーダンスをZ₃とする。マイクロ波導入窓部22の(n-1)層目の誘電体とn層目の誘電体との境界からプラズマ生成室部23側をみたインピーダンスR_nは(1)式のようにn個の式で表わされる。

$$R_n = Z_n (Z_n + jZ_n \tan \theta_n) / (Z_n + jR_{n-1} \tan \theta_{n-1})$$

$$R_1 = Z_1 (R_2 + j Z_1 \tan \theta_1) / (Z_1 + j R_2 \tan \theta_1)$$

ここで、 $\theta = 2\pi l / \lambda$ である。ただし、 λ は、導入導波管 1 が TE₁₁ モードの円形導波管の場合は 3.4 125 a、TE₁₀ モードの矩形導波管の場合は 2 b (b は矩形の長手方向の長さ) である。*

$$|T|^2 = 1 - |R_1 - 1|^2 / |R_1 + 1|^2 \quad \dots \dots \quad (1)$$

上述の計算を実行するには、プラズマの比誘電率 ϵ を決める必要がある。以下に述べるように理論式と実験結果より求め、 $\epsilon = 100$ としている。プラズマの比誘電率 ϵ は、プラズマ周波数を ω 、電子サイクロトロン※

$$\epsilon = 1 - (\omega / \omega_c)^2 / (1 - \omega / \omega_c) \quad \dots \dots \quad (2)$$

ここで、 ω_c 、 ω は次式で表わされる。

$$\omega_c = (4\pi e^2 n / m)^{1/2} \quad \dots \dots \quad (3)$$

$$\omega = m / e B \quad \dots \dots \quad (4)$$

ただし、 n はプラズマ密度、 m は電子の質量、 e は電子の電荷量である。実験により最適な動作条件から $\omega_c / \omega = 1.10$ であり、生成プラズマの密度を 10^{12} cm^{-3} 以上とするためには、 $(\omega_c / \omega)^2 = 1.34$ 以上が必要である。これらの値を (3) 式に代入すると、 $\epsilon = 100$ となる。

【0014】図 3 に、マイクロ波導入窓部 2 が 1 層の場合の上述の方法による計算例を示す。導入導波管部 2 1 に誘電体としてアルミナ (誘電率 9) を充填し、マイクロ波導入窓部 2 2 は石英 (誘電率 4) 1 層だけの構成としてある。横軸は石英の厚さ、縦軸が透過率を示す。石英の厚さを変化させるに従い、透過率は大きく変化するが、最大でも 6.5% 程度しか得られない。これは、① 内径がマイクロ波の伝搬領域より小さい、② プラズマの比誘電率 ϵ が 100 と大きいために石英 1 層だけではインピーダンス整合がとれないからである。また、同図から分かるようにマイクロ波導入窓を石英 1 層の代わりにアルミナ 1 層としても透過率は 6.5% 程度しか得られない。

【0015】図 4 に 2 層の場合の計算例を示す。マイクロ波導入窓は石英とアルミナの 2 層構成としてある。横軸はアルミナの厚さ、縦軸がマイクロ波のプラズマへの透過率である。石英の厚さは或る値に固定してある。図 4 から明らかなように、アルミナの厚さに対して透過率は大きく変化し、最適な厚さ 1.1 cm では透過率はほぼ 100% が得られる。従って、プラズマの比誘電率 ϵ が 100 と大きい高密度プラズマでは、2 層以上の誘電体を組み合わせる必要があることが明らかである。本実施例では、2 層のマイクロ波導入窓はこの透過率が 100% となる厚さの組み合わせとしてある。

【0016】図 5 に実験結果を示す。同図では、透過率がほぼ 100% (曲線 S 1) の場合のマイクロ波導入窓構成の場合と、透過率が 4.3% (曲線 S 2) の構成の場合のプラズマ密度のマイクロ波パワー依存性を比較して

* 【0013】(1) 式により R_1, R_{-1}, \dots と順次計算することで、 R_1 が求められる。 R_1 が求められれば、プラズマ生成室 3 へのマイクロ波の透過率は (2) 式により求められる。

$$|T|^2 = 1 - |R_1 - 1|^2 / |R_1 + 1|^2 \quad \dots \dots \quad (2)$$

※周波数を ω 、入射マイクロ波周波数を ω とすると、次 10 の (3) 式のように表わされる (衝突は無視、電子温度は 0 と仮定)。

$$\epsilon = 1 - (\omega_c / \omega)^2 / (1 - \omega_c / \omega) \quad \dots \dots \quad (3)$$

$$\omega_c = (4\pi e^2 n / m)^{1/2} \quad \dots \dots \quad (4)$$

$$\omega = m / e B \quad \dots \dots \quad (5)$$

ある。実際に得られるプラズマ密度は透過率が大きいほど高く、透過率 100% 構成の場合、1 術程度高いプラズマ密度 10^{13} cm^{-3} が得られる。このように、多層の誘電体を用いてマイクロ波導入窓を構成すると、プラズマ生成室をマイクロ波の伝搬モードより大幅に小型化しても、インピーダンス整合をとることができ、 10^{13} cm^{-3} 以上の高いプラズマ密度を得ることができる。本実施例は、プラズマ生成室がマイクロ波の伝搬できない大きさの場合であるが、プラズマ生成室が通常の大きさの場合ももちろん上述の計算法は適用できる。

【0018】スパッタリングターゲット 6 は円筒状でかつ断面が逆さび形をしている。これは、スパッタされた金属粒子がマイクロ波導入窓のアルミナ 3 B へ付着してマイクロ波が導入されなくなるのを防ぐためのものであり、スパッタリングターゲット 6 の表面からこのアルミナ 3 B の面が全く見えない構造になっている。図 6 は、スパッタリングターゲット 6 と導入窓のアルミナ 3 B との位置関係を示した図である。スパッタされた金属粒子は数 eV の運動エネルギーをもち、また、低ガス圧中 ($\sim 10^{-4} \text{ Torr}$) なので、他の粒子と衝突せずに直進する。そのため、ほとんどの金属粒子は、プラズマ生成室 3 の壁に衝突・付着し、導入窓のアルミナ 3 B には付着しない。したがって、この構造により長時間、安定に 40 イオン源の動作を行うことが可能となる。

【0019】スパッタリングターゲット 6 への電圧印加は、スパッタ電源 1 1 からフランジ 1 0 を通して行う。スパッタリングターゲット 6 の材料としては、Cu, W, Ta, Fe などの導電性のある材料ならターゲット電圧に直流を用いて使用することができる。非導電性の材料の場合は、ターゲット電圧を RF (高周波) で印加すれば同様に使用できる。ターゲットホルダー 7 は、スパッタリングターゲット 6 を保持すると共に冷却の機能も有している。このため、ターゲットホルダー 7 とスパッタリングターゲット 6 の間の絶縁物としては、絶縁体

としては熱伝導性の高いボロンナイトライドを使用している。効率よくスパッタリングターゲット6を冷却するには、ターゲットホルダー7は水冷機構を有することが望ましい。実施例では引き出し電極系8A, 8Bは2枚電極構造としてあるが、低エネルギー引き出しには1枚電極構造を用い、低エネルギー引き出しには3枚電極構造を用いる。引き出し電極孔形状は、この実施例では2mmφ×37個（引き出し領域20mmφ）としてある。なお、イオン源としてではなく、プラズマ源として用いる場合は、この引き出し電極系は取り外せばよい。

【0020】次に、図1, 6を参照にしてイオン源の動作を説明する。スパッタリングガス（通常はArであるが他のガスでもよい）をガス導入孔5からプラズマ生成室3に導入し、磁気コイル4により電子サイクロトロン共鳴を満足する磁場（2.45GHzに対して875ガウス）をプラズマ生成室3内に印加する。そして、マイクロ波をマイクロ波導波管1、マイクロ波導入窓2を通して導入すると、漏れマイクロ波により一度プラズマが励起され、その後安定に定常プラズマが生成される。ここで、ターゲット電圧を印加してArイオンをスパッタリングターゲット6に衝突させ、金属粒子をスパッタさせる。スパッタされた金属粒子はほとんどが中性粒子であるが、磁力線14に沿って輸送されたArプラズマと衝突し、効率よくイオン化される。イオン化された金属粒子は引き出し電極8A, 8Bに印加された電圧によりイオンビーム9として引き出される。

【0021】図7は、スパッタリングターゲット6の電流電圧特性の一例を示す図であり、ターゲット材料としてCuを使用している。Arガスの流量をパラメータにしている。Arガスの流量が1.5sccmのとき、ターゲット電流密度は1.2mA/cm²と高い値が得られ、高密度で金属粒子がスパッタされていることがわかる。図8は、イオンビーム9を加速電圧300Vで引き出したときの質量分析スペクトルを示す。Cu, Ar, Ar²⁺イオンが存在し、Cuの比率として7%と高い値が得られている。Cuイオンとしては、1mA以上の高い電流値が得られている。Cu以外にもW, Ta等の金属イオンでも同様な性能が得られる。

【0022】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、導入導波管の内部に誘電体を有し、導入導波管内の誘電体と誘電率の異なる誘電体をマイクロ波導入窓に少なくとも1層

有し、電圧印加が可能な金属粒子供給用のスパッタリングターゲットを設けたことにより、次のような優れた性能を得ることができる。

(1)高密度のECRプラズマを用いることができるのと、大量の金属粒子をスパッタすることができる。

(2)ECRプラズマ流との相互作用により、高効率で金属粒子をイオン化できる

(3)導入窓への金属粒子の付着を防止できるため、長期間にわたり安定な動作を行うことができる。

10 (4)装置を大幅に小型化できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるマイクロ波プラズマ源の一実施例を示す構成図である。

【図2】導波管とマイクロ波導入窓とプラズマ生成室の構成を示す模式図である。

【図3】マイクロ波導入窓が石英1層の場合の石英の厚さと透過率との関係を示すグラフである。

【図4】マイクロ波導入窓が石英とアルミナの2層の場合のアルミナの厚さと透過率との関係を示すグラフである。

【図5】生成プラズマ密度のマイクロ波パワー依存性を示すグラフである。

【図6】金属プラズマ生成の模式図である。

【図7】スパッタリングターゲットに流れる電流と電圧との関係を示すグラフである。

【図8】イオンビームを質量分析した結果を示すグラフである。

【符号の説明】

1 マイクロ波導波管

30 2 マイクロ波導入窓

3 プラズマ生成室

4 磁気コイル

5 ガス導入孔

6 スパッタリングターゲット

7 ターゲットホルダー

8A, 8B 引き出し電極系

9 イオンビーム

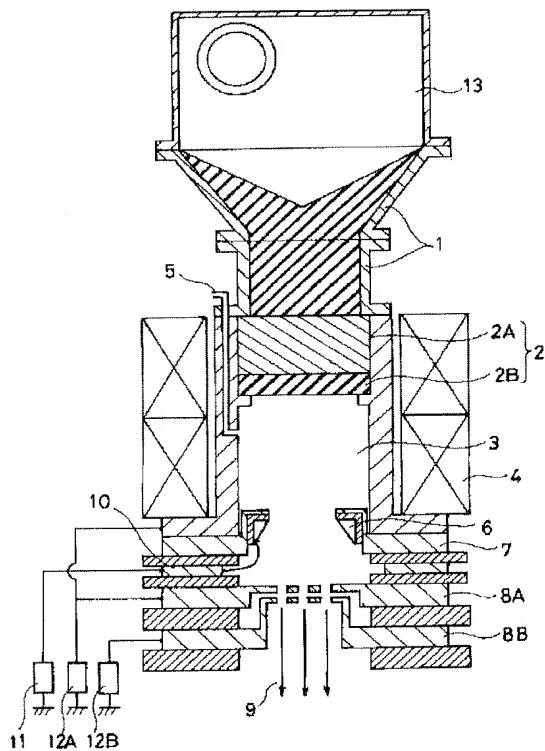
10 フランジ

11 スパッタ電源

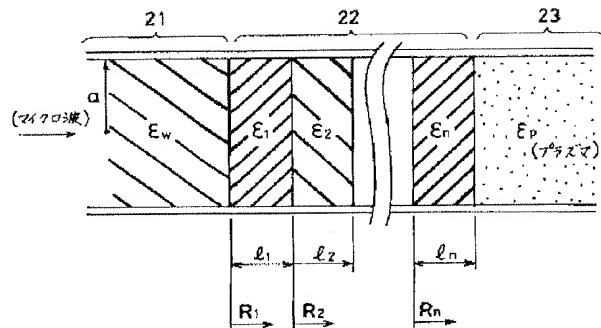
40 12A, 12B 引き出し電源

13 同軸導波管変換器

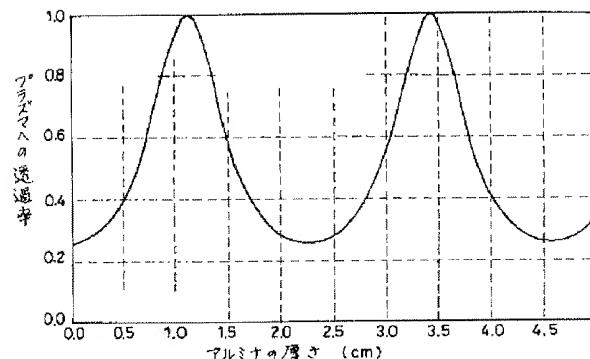
【図1】



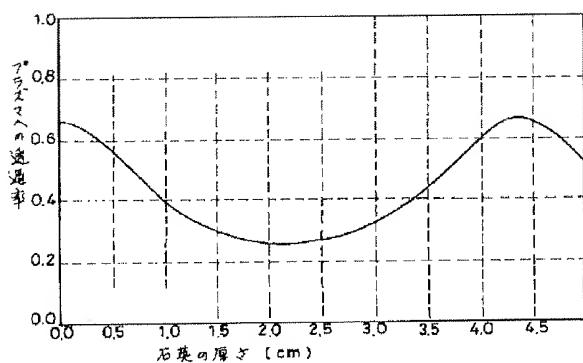
【図2】



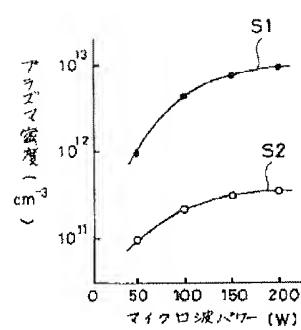
【図4】



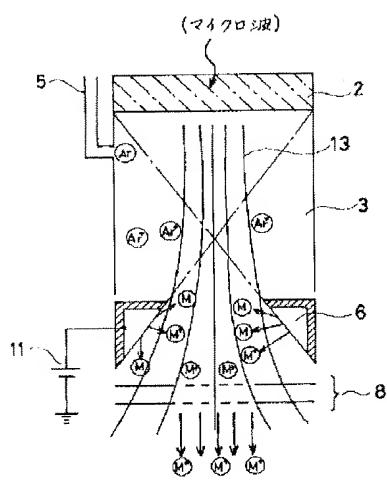
【図3】



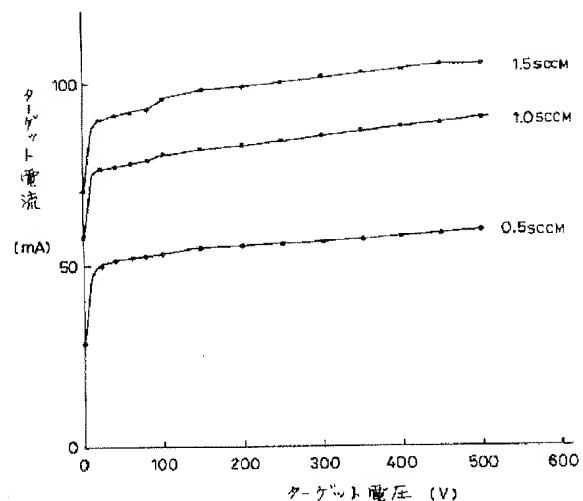
【図5】



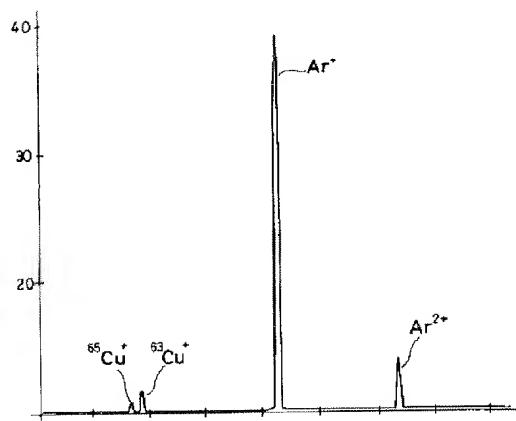
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 5

H 01 L 21/31
H 05 H 1/46

識別記号

府内整理番号
C 8518-4M
9014-2G

F I

技術表示箇所